

ÉCOLE SUPÉRIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

ESTP – Laboratoire de Géotechnique

RAPPORT DE TRAVAUX PRATIQUES

LIMITES D'ATTERBERG

Date du TP : 27 mai 2025

Lieu : ESTP

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
I	-
GÉNÉRALITÉS	4
II	-
ÉTAPES DE PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON	4
III	-
ÉTUDE DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ	5
	A.
Appareillage	5
	B.
opérateur	6
	C.
Exploitation des résultats	7
IV	-
ÉTUDE DE LA LIMITE DE PLASTICITÉ	8
	A.
Appareillage	8
	B.
opérateur	8
	C.
Résultats	9
	D.
Interprétation	10
CONCLUSION GÉNÉRALE	11
ANNEXES	12

INTRODUCTION

Avant de construire, il faut comprendre le sol. Chaque ouvrage repose sur un terrain dont le comportement peut varier en fonction de nombreux facteurs, notamment l'humidité. Pour anticiper ces variations, les ingénieurs utilisent des méthodes précises d'analyse, dont les limites d'Atterberg font partie. Lors du TP du 27 mai 2025 organisé à l'ESTP, nous avons étudié cette méthode qui permet de déterminer les différentes phases de consistance d'un sol fin : solide, plastique ou liquide. Ces limites de liquidité et de plasticité sont essentielles pour évaluer la plasticité d'un sol et guider les choix techniques en géotechnique. Ce travail pratique nous a offert l'occasion de manipuler, mesurer et interpréter, en reliant la théorie à des observations concrètes.

I - GÉNÉRALITÉS

Les limites d'Atterberg constituent une méthode d'analyse utilisée pour caractériser la consistance des sols fins en fonction de leur teneur en eau. Cette méthode permet de définir les transitions entre différents états du sol : solide, plastique et liquide. Elle repose sur des essais normalisés permettant de mesurer la limite de liquidité (WL) et la limite de plasticité (WP), à partir desquelles on déduit l'indice de plasticité (IP). Ces paramètres sont essentiels pour la classification des sols et pour prédire leur comportement mécanique, en particulier dans les projets de terrassement ou de fondation où la plasticité influe directement sur la stabilité et la portance.

II - ÉTAPES DE PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON POUR LES ESSAIS DE LIMITES D'ATTERBERG

Imbiber l'échantillon de sol avec de l'eau distillée et laisser reposer pendant 24 heures afin d'assurer une bonne humidification et la désagrégation des particules fines. Après ce temps, tamiser l'échantillon à l'aide d'un tamis de 0,4 mm en ne conservant que les passants, c'est-à-dire les particules fines nécessaires aux essais d'Atterberg, et rejeter les refus. Laisser ensuite reposer ces passants pendant 24 heures pour permettre une décantation naturelle ; lorsque l'eau devient limpide, verser doucement l'eau en surface sans perturber les particules déposées, et ne conserver que la phase solide. Transférer ces particules dans une étuve réglée à 105 °C et les laisser sécher jusqu'à l'apparition de fissures visibles, signe que l'échantillon est suffisamment sec pour être remanié et homogénéisé.

III - ÉTUDE DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ

L'étude de la limite de liquidité vise à déterminer la teneur en eau à partir de laquelle un sol passe de l'état plastique à l'état liquide, c'est-à-dire le point où il commence à couler sous l'effet de son propre poids.

A. Appareillage

L'appareillage utilisé pour la réalisation de l'essai de limite de liquidité comprend :

- Une coupelle de Casagrande
- Des tares (boîtes métalliques)
- Une truelle
- Une balance électronique
- De l'eau distillée
- Un outil à rainure (diviseur standard)

- Une spatule

B. Mode opératoire

Prélever une portion de l'échantillon préparé, puis ajouter progressivement de l'eau jusqu'à obtention d'une pâte légèrement collante. Remplir uniformément une moitié de la coupelle de Casagrande avec cette pâte, aplanir la surface à l'aide d'une spatule, puis tracer une rainure centrale avec le diviseur standard. Faire tomber la coupelle de 1 cm de hauteur à un rythme de deux coups par seconde et compter le nombre de coups nécessaires pour que les deux bords de la rainure se rejoignent sur une longueur de 12 mm. À ce moment, prélever une partie de la terre au niveau de la zone de fermeture, la placer dans une tare préalablement pesée, puis peser immédiatement l'ensemble (tare + sol humide). Répéter l'essai avec différentes teneurs en eau (4 à 5 fois), puis placer les tares contenant les échantillons humides à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures avant de les peser à nouveau. Calculer la teneur en eau pour chaque essai, tracer la courbe de liquidité (nombre de coups en fonction de la teneur en eau), et déterminer la limite de liquidité correspondant à 25 coups sur cette courbe.

C. Exploitation des résultats

1. Calcul de la teneur en eau W

Les formules appliquées sont les suivantes :

$$W (\%) = (P_w / P_s) \times 100$$

$$P_w = P_{th} - P_{ts}$$

$$P_s = P_{ts} - P_t$$

Avec :

- W : la teneur en eau (%)
- P_w : poids de l'eau (g)
- P_s : poids net de l'échantillon sec (g)
- P_{th} : poids total humide (g)
- P_{ts} : poids total sec (g)
- P_t : poids de la tare (g)

2. Détermination de la limite de liquidités WL

a) Valeur expérimentale de WL

Par définition, la limite de liquidité est la teneur en eau correspondant à 25 coups. D'après la courbe tracée à partir de nos mesures :

$$WL_{\text{expérimental}} = 42,296 \%$$

b) Valeur théorique de WL

Pour le calcul de cette valeur, la formule suivante est utilisée :

$$WL = w \times (N / 25)^{4,121}$$

Avec N le nombre de coups et w la teneur en eau (%). Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs théoriques calculées :

Nombre de coups	17	21	25	29 / 30 / 34
Valeur théorique WL	8,75	24,37	42,86	voir tableau
Teneur en eau wI (%)	39,02	44,00	42,86	43,48 / 44,44

IV - ÉTUDE DE LA LIMITE DE PLASTICITÉ

L'étude de la limite de plasticité permet de déterminer la teneur en eau en dessous de laquelle un sol cesse d'être malléable et commence à se fissurer lorsqu'il est manipulé, marquant ainsi la transition entre l'état plastique et l'état semi-solide.

A. Appareillage

L'appareillage utilisé pour la limite de plasticité est identique à celui utilisé pour la limite de liquidité : balance électronique, tares métalliques, étuve à 105 °C, et plaque en verre pour le roulage.

B. Mode opératoire

Prélever une petite portion de pâte issue de la même préparation que celle utilisée pour la détermination de la liquidité, puis la malaxer avec les doigts tout en la réchauffant jusqu'à obtenir une boule homogène et plastique, semblable à une pâte à modeler. Prélever ensuite une petite quantité de cette boule et la rouler doucement sur une plaque en verre propre et non adhésive jusqu'à obtenir un boudin de 2 à 3 mm de diamètre. Une fois ce diamètre atteint, découper un segment d'environ 10 à 14 cm de longueur, le soulever par le milieu et observer son comportement : si le boudin se fissure ou se casse sous son propre poids sur une hauteur d'environ 2 cm, la pâte a atteint sa limite de plasticité ; dans le cas contraire, ou s'il se fissure trop tôt, il faut reprendre l'opération depuis le début (malaxage, roulage, test). Lorsque le critère de fissuration est satisfait, récupérer le boudin et le placer dans une tare préalablement pesée, puis peser immédiatement l'ensemble (tare + sol humide). Ensuite, placer la tare dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures, puis effectuer une nouvelle pesée après séchage afin de calculer la teneur en eau. Répéter l'essai 2 à 3 fois, puis faire la moyenne des valeurs obtenues : cette moyenne correspond à la limite de plasticité du sol.

C. Résultats

1. Mesures réalisées

Les différentes mesures sont consignées dans le tableau récapitulatif en annexe (Tableau 1).

2. Calcul de la limite de plasticité W_p

$$W_p = \Sigma w / 3$$

Avec :

$$w = (P_w / P_s) \times 100$$

À partir des données du tableau (tares 4, 13, 55) :

- w1 (tare 4) : $P_w = 0,5 \text{ g}$; $P_s = 3 \text{ g}$ → $w_1 = 16,67 \%$
- w2 (tare 13) : $P_w = 0 \text{ g}$; $P_s = 2 \text{ g}$ → $w_2 = 0 \%$
- w3 (tare 55) : $P_w = 0,5 \text{ g}$; $P_s = 2 \text{ g}$ → $w_3 = 25 \%$

$$W_p = (16,67 + 0 + 25) / 3 = 13,89 \%$$

3. Détermination de l'indice de plasticité I_p

$$I_p = W_L - W_p$$

$$I_p = 42,296 - 13,89 = 28,406 \%$$

D. Interprétation

La moyenne des essais donne une limite de liquidité (WL) de 42,296 %. La courbe montre une dispersion raisonnable des points, représentative du comportement attendu d'un sol argileux. La valeur de la limite de plasticité (WP) obtenue est de 13,89 %. L'indice de plasticité calculé est $IP = 28,406 \%$.

Ces valeurs indiquent une plasticité moyenne à élevée, typique d'un sol argileux cohésif. On peut déduire des résultats que :

- Le sol est argileux à forte teneur en eau.
- $IP = 28,41 \%$ indique un comportement cohésif et plastique.
- Risque de fluage important et faible portance.
- Forte sensibilité au retrait et au gonflement lors de cycles humides/secs.
- Stabilisation possible à la chaux ou au ciment selon l'usage.
- Compactage conseillé proche de la limite de plasticité.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail pratique nous a permis de mettre en application la méthode des limites d'Atterberg pour caractériser un sol fin prélevé en laboratoire. Grâce aux essais réalisés à la coupelle de Casagrande pour la limite de liquidité et au roulage manuel pour la limite de plasticité, nous avons déterminé les paramètres géotechniques suivants :

- Limite de liquidité : $WL = 42,296 \%$
- Limite de plasticité : $WP = 13,89 \%$
- Indice de plasticité : $IP = 28,406 \%$

Ces résultats confirment que le sol étudié est un sol argileux cohésif, à plasticité moyenne à élevée. Sa forte sensibilité à l'eau implique des précautions particulières en terrassement et en fondation. Un traitement à la chaux ou au ciment pourrait être envisagé pour améliorer ses caractéristiques mécaniques. Ce TP nous a permis de renforcer notre compréhension du comportement des sols fins et d'acquérir une expérience pratique indispensable à l'ingénierie géotechnique.

ANNEXES

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des données de l'essai d'Atterberg

	LIMITE DE LIQUIDITE					LIMITE DE PLASTICITE		
	17	21	26	30	34	-	-	-
N° de la tare	51	17	45	46	37	4	13	55
Poids total humide (g)	44,5	37	31	22	31,5	8,5	6,5	7
Poids total sec (g)	36,5	31,5	23,5	17	27,5	8	6,5	6,5
Poids de la tare (g)	16	19	5	5,5	18,5	5	4,5	4,5
Poids de l'eau (g)	8	5,5	7,5	5	4	0,5	0	0,5
Poids du matériau sec (g)	20,5	12,5	18,5	11,5	9	3	2	2
Teneur en eau (%)	39,02	44	40,54	43,48	44,44	16,6 7	0	25
Teneur en eau moyenne W (%)	42,296					13,89		

Résultats calculés

WL (%)	WP (%)	IP (%)
42,296	13,89	28,406

Annexe 2 : Courbe représentative de la teneur en eau en fonction du nombre de coups

La courbe ci-dessous représente la teneur en eau (en %) en fonction du nombre de coups mesurés lors de l'essai à la coupelle de Casagrande. La limite de liquidité WL correspond à la teneur en eau pour 25 coups, lue sur la droite de régression : WL = 42,296 %.

Teneur en eau (%) en fonction du nombre de coups

$N = 17 \rightarrow W = 39,02 \%$ / $N = 21 \rightarrow W = 44 \%$ / $N = 25 \rightarrow W = 42,86 \%$ / $N = 30 \rightarrow W = 43,48 \%$ / $N = 34 \rightarrow W = 44,44 \%$

► **WL (à 25 coups) = 42,296 %**